УДК 622.831.232

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ НА ХАРАКТЕР ЗАВИСАНИЯ И ЦИКЛИЧЕСКОГО ОБРУШЕНИЯ ПОДРАБОТАННЫХ ПОРОД КРОВЛИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов

ГОУ ВПО "Сибирский государственный индустриальный университет". г. Новокузнецк
E-mail: rector@sibsiu.ru

Используя пространственную геомеханическую модель деформирования и разрушения горных пород в зоне влияния горной выработки, разработанную на основе метода конечных элементов, проведено исследование влияния движущегося очистного забоя на характер изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений впереди очистного забоя, зависания и циклического обрушения подработанных пород кровли угольных пластов.

Введение

В последнее десятилетие резко возросла интенсивность подземной разработки угольных месторождений. За этот период нагрузка на очистной комплексно-механизированный забой возросла в 3...4 раза, а длина лавы увеличилась от 120 до 300 м. Закономерности геомеханических процессов для таких забоев изучены недостаточно, что подтверждается большой аварийностью забоев и высоким уровнем группового травматизма (шахты "Зыряновская", "Тайжина" в Кузбассе и др.).

Изучением геомеханических процессов на угольных шахтах в окрестности очистных забоев занимались многие ученые: Ф.А. Белаенко, А.А. Борисов, Г.Н. Кузнецов, В.Д. Слесарев, П.М. Цимбаревич, И.Л.Черняк и др. Общие закономерности сдвижения подрабатываемого массива горных пород неоднократно описаны в литературе [1–5 и др.].

Механизм разрушений и обрушений толщи пород кровли разработан Г.Н. Кузнецовым [1]. Он доказал, что обрушение слоев непосредственной кровли в выработанном пространстве будет иметь место при условии, если толщина слоев кровли меньше мощности пласта. Характер первого обрушения основной кровли в срединном сечении выработанного пространства, ее взаимодействие с непосредственной кровлей и характер опорного давления на краевые зоны разрабатываемого пласта схематично показаны на рис. 1.

Как отмечается в [2] породы над зоной интенсивного разрыхления деформируются и разрушаются подобно тонким плитам, в режиме первого обрушения – подобно плите, защемленной на прямоугольном опорном контуре, в режиме установившегося обрушения – подобно консольной плите, защемленной по трем сторонам опорного контура.

Общий характер распределения опорного давления в плоскости пологого пласта, рассчитанный по результатам физического моделирования на объемных моделях, проверенный и многократно подтвержденный шахтными и лабораторными исследованиями описан А.А. Борисовым [3, 4]. По характеру изменений опорного давления он выделяет следующие зоны: динамических проявлений опорного давления, затухания динамических проявлений опорного давления, статического состояния опорного давления.

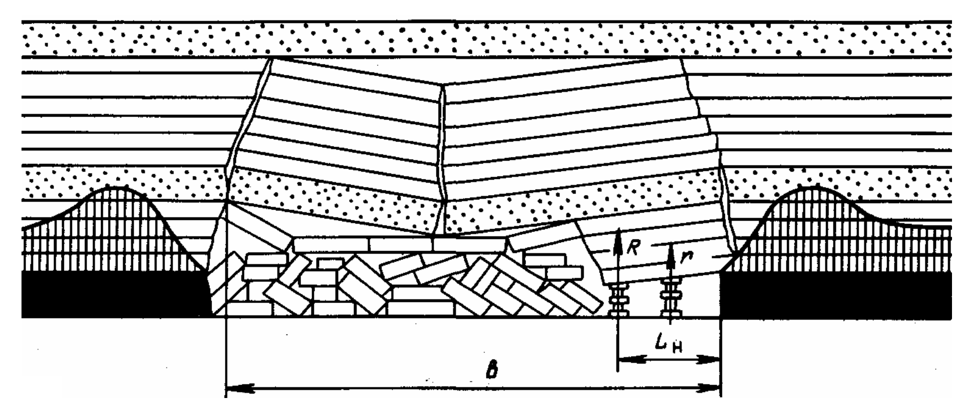


Рис. 1. *Характер первого обрушения основной кровли в среднем сечении (по простиранию) и распределение опорного давления на краевые зоны разрабатываемого пласта по Г.Н. Кузнецову [1]*

Анализ закономерностей проявления горного давления аналитическими методами выполнен Г.Н. Кузнецовым, А.М. Линьковым, И.М. Петуховым, К.В. Руппенейтом, Г.Н. Савиным и другими авторами. В аналитических методах исследования вопросов механики горных работ для расчета напряженного состояния массива в зонах влияния подземных выработок используются положения теории упругости, пластичности, ползучести. Учет влияния неоднородности состава пород междупластий на напряженное состояние толщи и угольных пластов выполнялся по методу эквивалентного слоя, широко применяемого в механике грунтов.

Разработанные в настоящее время аналитические методы расчета напряжений в зонах влияния подземных выработок имеют ограниченную область применения и используются, главным образом, на стадии прогнозной оценки горно-геологических и горнотехнических условий отработки, для выбора способов и средств управления горным давлением.

Авторами [5] были проведены исследования характерных зон и параметров сдвижения массива под действием очистных работ на моделях из эквивалентных материалов. Измерения тензодатчиками вертикальных напряжений в подработанном массиве показали, что в 30...40 м впереди забоя напряжения возрастают в 1,5...2,0 раза, затем над забоем, или с некоторым опережением забоя, происходит снижение уровня напряжений практически до нуля. В дальнейшем происходит восстановление напряжений. Полностью до исходного уровня напряжения восстанавливаются на расстоянии 50...60 м за забоем.

Следует отметить, что одним из недостатков существующих методов прогнозирования напряженно-деформированного состояния углепородного массива при проведении горных выработок является решение двумерной задачи, что не обеспечивает корректного результата на сопряжении очистного забоя и угольного массива.

Кроме того, сложность расчетов напряженного состояния толщи пород при разработке свит пластов обусловлена необходимостью учета взаимного влияния выработок на различных пластах и неоднородностью состава углепородного массива. В реальных условиях учитывать влияние всех слоев горных пород на напряженное состояние толщи весьма трудоемко и сложно из-за недостаточной надежности определения механических характеристик на контактах слоев.

В этой связи научные исследования геомеханических процессов в окрестности высокопроизводительного комплексно-механизированного забоя путем решения пространственной задачи геомеханики с использованием численных методов являются актуальными.

Объект и методы исследований

Для сравнения фактических данных с численными результатами количественного прогнозирования геомеханических процессов в углепородном массиве при движении очистного забоя в качестве базового варианта объекта исследований выбран выемочный участок 26-26 шахты "Абашевская" в Кузбассе.

При расчете параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива в зоне влияния горной выработки использовалась пространственная геомеханическая модель деформирования и разрушения горных пород, разработанная авторами на основе метода конечных элементов [6]. Прогнозирование геомеханических процессов в углепородном массиве выполнялось на основе анализа пространственного напряженно-деформированного состояния и использования обобщенного критерия прочности Кулона-Мизеса. При моделировании механизма обрушения горных пород осуществлялось последовательное накопление повреждений с учетом функции времени. Для имитации движения очистного забоя выполнялся циклический сдвиг системы координат по мере продвижения забоя.

Учитывая сложность поставленной задачи и ограничения, связанные с техническими возможностями вычислительной техники, проводились исследования характера изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений впереди

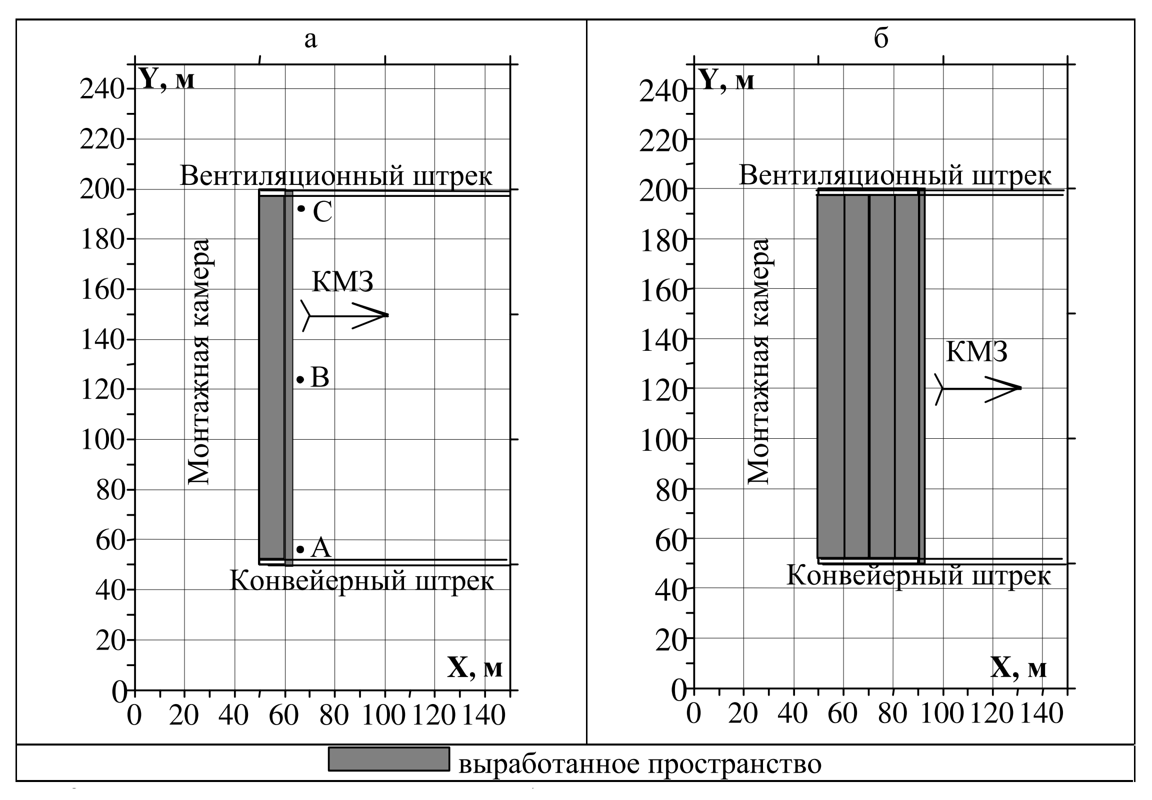


Рис. 2. Схема движения очистного забоя, ограниченного по восстанию и падению угольным массивом на: а) 10; б) 40 м

очистного забоя, зависания и циклического обрушения подработанных пород кровли при движении длинного очистного забоя, ограниченного по восстанию и падению угольным массивом. Имитация движения очистного забоя от монтажной камеры выполнялась с шагом 10 м (рис. 2, *а*, *б*).

На каждом шаге моделирования вычислялись горизонтальные и вертикальные смещения, деформации, напряжения, определялись коэффициент концентрации вертикальных напряжений и остаточная прочность угля и пород в зоне влияния выработанного пространства. Наиболее представительными оказались графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в угольном массиве впереди очистного забоя, а также формы и размеры зон зависания и обрушения подработанных пород кровли.

Исследование влияния движущегося забоя на характер зависания и циклического обрушения подработанных пород кровли угольных пластов

В результате проведенных исследований установлено, что при движении очистного забоя зона обрушения пород кровли имеет ассиметричную форму. По мере движения забоя от монтажной камеры происходит последовательное обрушение пород непосредственной кровли в середине выработанного пространства. Высота зоны обрушения увеличивается пропорционально расстоянию от монтажной камеры до забоя. Наиболее интенсивно разрушение породы происходит вблизи движущегося очистного забоя (рис. 3).

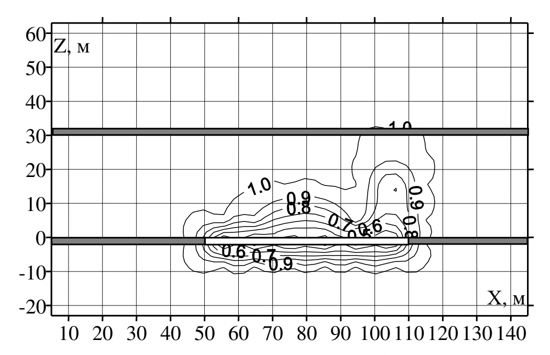


Рис. 3. Схема формирования зоны обрушенных пород подработанной кровли

Над угловыми участками выработанного пространства происходит зависание пород непосредственной кровли, что приводит к увеличению напряжений в угольном массиве.

При наличии в подрабатываемой толще угольных пластов разрушение угля в них опережает разрушение пород непосредственной кровли. Над выработанным пространством формируется порода-мост, мощностью равной расстоянию от кровли отрабатываемого пласта до подрабатываемого пласта, т.е. происходит расслоение подрабатываемой толщи и формирование двух породных плит (рис. 4).

Наличие таких пород-мостов над выработанным пространством приводит к росту напряжений в отрабатываемом пласте, увеличению длины консоли при движении забоя и динамическому обрушению породы-моста при достижении предельного значения длины консоли.

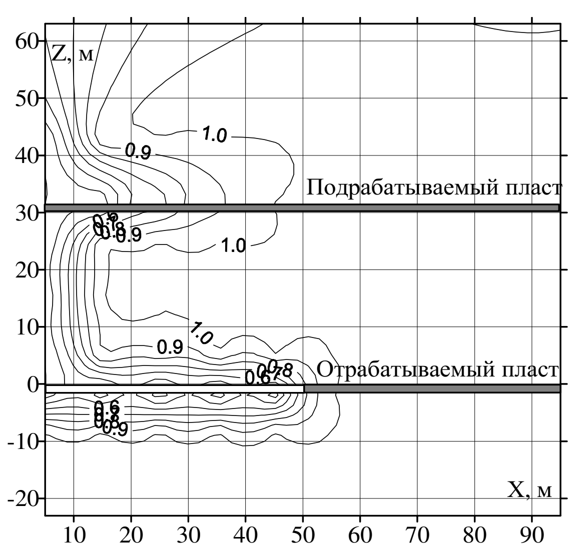


Рис. 4. *Схема формирования зависающей консоли подработанных пород кровли*

Динамическое обрушение пород кровли сопровождается заполнением выработанного пространства, вытеснением метано-воздушной смеси и угольной пыли в горные выработки и, при наличии источника открытого огня, подземным взрывом.

Исследование влияния движущегося забоя на характер изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений впереди очистного забоя

По мере движения от монтажной камеры происходит почти линейное увеличение коэффициента концентрации вертикальных напряжений (рис. 5). Прирост вертикальных напряжений происходит за счет увеличения веса зависающих пород кровли.

При движении очистного забоя одновременно с зависанием пород основной кровли и налегающей толщи происходит обрушение пород непосредственной кровли, что приводит к частичному снижению веса зависающих подработанных пород. Это обрушение пород непосредственной кровли зафиксировано на графиках на рис. 5 в виде снижения коэффициента концентрации вертикальных напряжений после каждого шага подвигания забоя.

Как следует из графиков на рис. 5, снижение коэффициента концентрации вертикальных напряжений в среднем сечении лавы (точка В на рис. 2, *а*) приводит к его возрастанию над угловыми участками лавы (точки А и С на рис. 2, *а*).

В процессе движения очистного забоя на расстоянии равном 0,7 длины лавы резко возросла

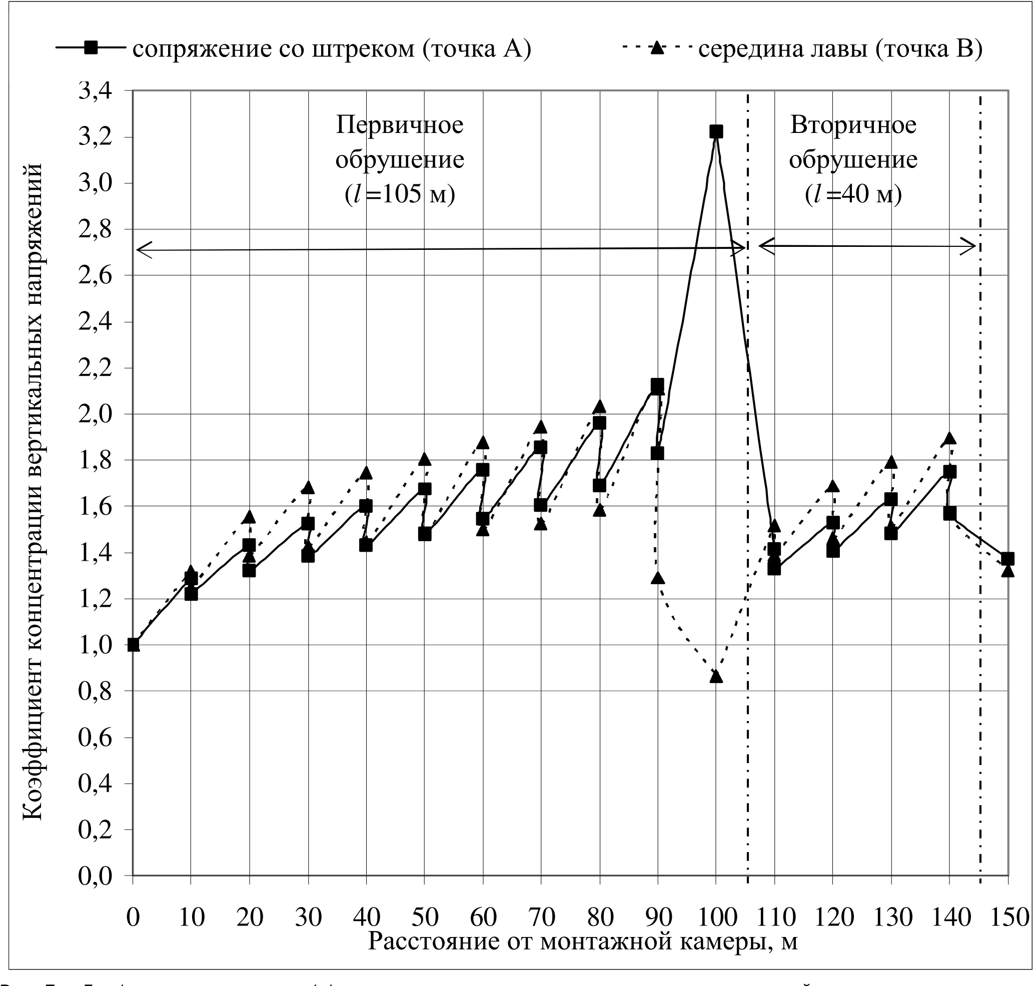


Рис. 5. *Графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений при движении очистного забоя*

нагрузка на угольный пласт в средней части лавы. На следующем шаге произошло первичное обрушение пород основной кровли, что привело к разгрузке и снижению коэффициента концентрации вертикальных напряжений до 0,87 в призабойной части угольного массива в середине лавы (рис. 5).

После частичного обрушения пород основной кровли в середине выработанного пространства произошло перераспределение веса необрушенных пород на краевые участки угольного пласта, т.е. за счет взаимного влияния линии забоя и границ выемочного участка в угловых частях выработанного пространства кровля не обрушилась, и резко возросло горное давление. Это привело к увеличению коэффициента концентрации вертикальных напряжений в пласте до 3,22 вблизи сопряжения вентиляционного штрека и линии забоя (рис. 5).

При следующем подвигании забоя на 10 м произошло полное обрушение пород кровли в пределах всего отработанного контура. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в угольном пласте вблизи сопряжений с горными выработками составил 1,48 (рис. 5).

В процессе дальнейшего подвигания лавы снова начала формироваться консоль зависания пород кровли. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в угольном массиве увеличивается как в середине лавы, так и на верхнем и нижнем сопряжениях лавы с горными выработками. При движении забоя происходит частичное обрушение пород непосредственной кровли, что приводит к снижению коэффициента концентрации вертикальных напряжений.

Через 30 м после первичного обрушения коэффициент концентрации вертикальных напряжений увеличился примерно в 1,3 раза, и произошло вторичное обрушение. Вторичному обрушению соответствует резкое уменьшение коэффициента концентрации вертикальных напряжений в 1,4 раза (рис. 5). Длина консоли вторичного зависания составила 0,33 от длины первичного шага обрушения.

Ввиду высокой аварийности горно-шахтного оборудования возможны остановки очистных забоев продолжительностью до нескольких месяцев. В этом случае вследствие высоких напряжений в угольном пласте вблизи от забоя происходит их релаксация, т.е. снижение коэффициента концентрации вертикальных напряжений (рис. 6).

Релаксация напряжений сопровождается уменьшением прочности угля, что приводит к росту смещений пород кровли над очистным забоем. При этом вследствие деформации пород кровли и пучения пород почвы происходит конвергенция перекрытия и основания секций крепи, "посадка" стоек механизированной крепи насухо и возникновение аварийной ситуации.

По результатам расчетов также установлено, что при остановке очистного забоя происходит увеличение высоты зоны обрушения пород кровли, в том числе с образованием трещин и заколов впереди очистного забоя.

Таким образом, полученные результаты удовлетворительно описывают циклический характер зависания и обрушения подработанных пород кровли при движении очистного забоя. Отношение вторичного и первичного шагов обрушения попадают в диапазон 0,25...0,5, установленный экспериментально [1–5].

Изменение вычисленного коэффициента концентрации вертикальных напряжений в диапазоне 1,3...2,15 соответствует экспериментальным данным, диапазон значений которых составляет 1,4...2,29 по замерам напряжений на пластах впереди очистных и подготовительных выработок гидравлическими датчиками, выполняемым на протяжении ряда лет в ВостНИИ [7].

Разработанная авторами пространственная геомеханическая модель деформирования и разрушения горных пород позволяет прогнозировать предельное время остановки очистного забоя в случае аварийной ситуации с учетом раздвижности секций механизированной крепи.

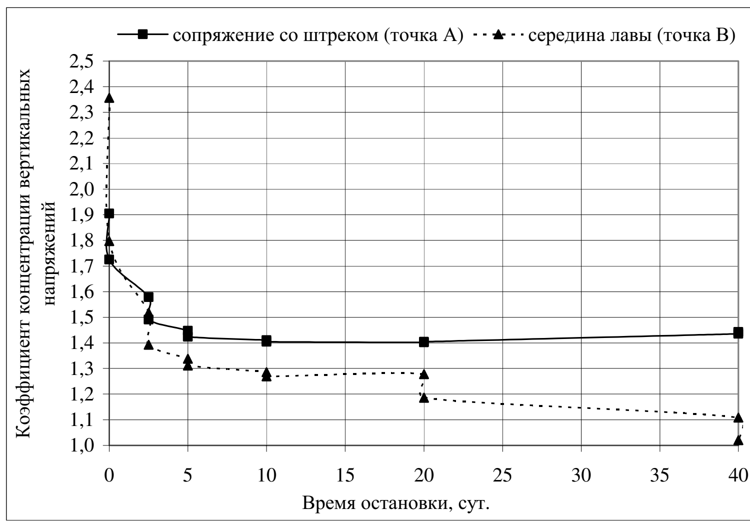


Рис. 6. *Графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений при остановке очистного забоя*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Г.Н. Механические свойства горных пород. – М.: Углетехиздат, 1947. – 180 с.
2. Черняк И.Л., Ярунин С.А. Управление состоянием массива горных пород. – М.: Недра, 1995. – 395 с.
3. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
4. Борисов А.А. Расчеты горного давления в лавах пологих пластов. – М.: Недра, 1964. – 278 с.
5. Управление горным давлением при разработке пологих пластов с труднообрушаемой кровлей на шахтах Кузбасса / С.И. Калинин, А.Ф. Лютенко, В.П. Егоров, С.Г. Дьяконов. – Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 1991. – 247 с.
6. Павлова Л.Д., Фрянов В.Н. Моделирование циклического характера обрушения горных пород при проведении выработки с последовательным накоплением повреждений // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 2. – С. 76–79.
7. Чернов О.И., Мурашев В.И., Шлиомовичус Я.Г. Распределение напряжений вокруг выработок с учетом псевдопластических свойств угольного массива // Проблемы механики горных пород: Матер. Всес. научной конф. по механике горных пород. – Новосибирск: Наука, 1971. – С. 684–689.

УДК 550.42:57.4(556.06)